Iranian Food Science and Technology
Research Journal
Homepage: https://ifstrj.um.ac.ir

Research Article
Vol. 20, No. 4, Oct.-Nov. 2024, p. 369-380

Production of Reduced Fat Mayonnaise Using Stabilized Nano Emulsion with Casein Complex Pickerings and Shirazi Gadomeh Gum

A. Modiri-dovom[1], A. Arianfar[2*], S. Naji-Tabasi[3], V. Hakimzadeh[4]
1, 2 and 4- Department of Food Science and Technology, Quchan Branch, Islamic Azad University, Quchan, Iran
(*- Corresponding Author Email: a_aria_1443@yahoo.com)
3- Department of Food Nanotechnology, Research Institute of Food Science and Technology (RIFST) PO Box, 91895-157.356, Mashhad, Iran

Received: 23.12.2022 Revised: 05.02.2023 Accepted: 25.02.2023 Available Online: 28.02.2023	**How to cite this article:** Modiri-dovom, A., Arianfar, A., Naji-Tabasi, S., & Hakimzadeh, V. (2024). Production of reduced fat mayonnaise Using stabilized nano emulsion with casein complex Pickerings and Shirazi Gadomeh gum. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, *20*(4), 369-380. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/ifstrj.2023.80077.1227

Introduction

Mayonnaise is a products which is widely popular in most countries. Apart from the desirable taste of this product as a seasoning, plays an effective role in providing nutrients and energy for humans. Dietary mayonnaise, is semi-solid or liquid product prepared from emulsification fat substitutes and vegetable oils with vinegar and other additives with less energy and fat. Fat has more calories (9 kcal/g) compared to protein and carbohydrates (4 kcal/g). Mayonnaise is an oil-in-water emulsion and due to having high amounts of fat it causes cardiovascular diseases. Gums are part of construction formula in low fat products to create texture. Due to the great desire to consume low-fat products and also the wide use of this sauce, production of low-fat mayonnaise is important. The purpose of this research was to develop reduced fat mayonnaise using stabilized nano emulsion with casein complex Pickering and Gadomeh Shirazi gum.

Materials and Methods

Mayonnaise with reduced oilcontains 30, 40 and 50 percent Pickering emulsion replacement oil respectively at the level of 42, 32 and 22 percent produced and compared with the control sample. Centrifugal and time stability tests, textural features, color characteristics, morphology, organoleptic properties were evaluated.

Results and Discussion

The results showed as the replacement percentage increases nano emulsion containing Pickering particles and reducing the percentage of fat in mayonnaise emulsion stability she found her mayonnaise sauce although at a replacement level of 30% nano emulsion, this decrease in stability was not significant ($P<0.05$). In the time stability test low-fat mayonnaise with an increase in the percentage of nano emulsion replacement, After 90 day's significant difference between the control sample and mayonnaise no significant difference was observed with oil reduced by 30 and 40%. In the colorimetry test it showed that among the factors L^*. a^*. b statistically with the sample there was a significant difference ($P\leq0/05$). Brightness In the witness sample, it was 48/85 in connection with RFM50% the least complex of particles Gadomeh Shirazi gum and casein protein and in relation to RFM30% the most complex of particles Gadomeh Shirazi gum and casein were used. Due to the presence of nanoemulsion contains complex particles Gadomeh Shirazi gum particles and protein. The brightness has decreased in general, from the RFM50% sample up to RFM 30% samples simultaneous with increasing amount of nanoemulsion and reduce the amount of fat the brightness is reduced.

https://doi.org/10.22067/ifstrj.2023.80077.1227

Conclusion

By replacing the nano emulsion and reducing the amount of fat in the structure of the sauce the amount of tissue stiffness decreased and pheneritis increased. The sensory test of the samples showed, the witness sample has the most general acceptance but there is a significant difference between the samples there was no reduced-fat mayonnaise with the control. Investigating the characteristics of mayonnaise with reduced fat using nanoemulsion stabilized with complex Pickerings casein and Shirazi Gadomeh gum the results showed that with the increase, reduce the amount of oil up to 30%, Sensory and texture characteristics in a meaningful way decreased. But oil reduction up to 50% in the presence of Pickering nanoemulsion preserve textural features and promoted in some cases. All emulsions produced of favorable stability during storage and centrifugation had. Best stability in control and sample RFM-30% was observed. Based on the results, use of nanoemulsion maintains quality characteristics mayonnaise with oil especially reduced in the sample RFM 30%, it was. Also note to the point that Pickering emulsion structure in the digestive system high stability against digestion, is hope Pickering nanoemulsion structure in the production of food products various low-fat items be investigated further.

Keywords: Casein, Gaduma Shirazi, Mayonnaise sauce, Nano emulsion, Pickering

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
https://ifstrj.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۲۰، شماره ۴، مهر-آبان ۱۴۰۳، ص. ۳۸۰-۳۶۹

تولید سس مایونز با چربی کاهش‌یافته با استفاده از نانوامولسیون پایدارشده با پیکرینگ‌های کمپلکس کازئین و صمغ قدومه شیرازی

آتنا مدیری دوم[۱]- اکرم آریان فر[۲]*- سارا ناجی طبسی[۳]- وحید حکیم‌زاده[٤]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۰۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۰۶

چکیده

سس مایونز، امولسیون روغن در آب است و با توجه به دارا بودن مقادیر بالای چربی موجب بروز بیماری‌های قلبی- عروقی در مصرف‌کنندگان می‌گردد. باتوجه به تمایل زیاد به مصرف محصولات کم‌چرب و همچنین استفاده گسترده از این محصول، تولید سس مایونز کم‌چرب حائز اهمیت است. هدف از انجام این پژوهش تولید سس مایونز با چربی کاهش‌یافته با استفاده از نانوامولسیون پایدارشده با پیکرینگ‌های کمپلکس کازئین و صمغ قدومه‌شیرازی است. سس مایونز با روغن کاهش‌یافته ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصد روغن با جایگزینی امولسیون پیکرینگ به‌ترتیب در سطح ۴۲، ۳۲ و ۲۲ درصد تولید و با نمونه شاهد مقایسه شد. پایداری سانتریفیوژی و زمانی، ویژگی‌های بافتی، خصوصیات رنگی، مورفولوژی، خصوصیات ارگونولپتیکی نمونه‌های سس مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد با افزایش درصد جایگزینی نانوامولسیون حاوی ذرات پیکرینگ و کاهش درصد چربی، میزان پایداری امولسیون سس کاهش یافت. اگرچه در سطح جایگزینی ۳۰ درصد نانوامولسیون این کاهش پایداری معنادار نبود ($P<0.05$). در آزمون پایداری زمانی سس مایونز کم‌چرب با افزایش درصد جایگزینی نانو امولسیون، پس از ۹۰ روز تفاوت معنی‌داری بین نمونه شاهد و سس مایونز با روغن کاهش‌یافته ۳۰ و ۴۰ درصد تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. با جایگزینی نانوامولسیون و کاهش میزان چربی در ساختار سس میزان سفتی بافت کاهش و فنریت افزایش یافت. آزمون حسی نمونه‌ها نشان داد، نمونه شاهد بیشترین پذیرش کلی را داراست ولی تفاوت معنی‌داری بین نمونه‌های سس مایونز با چربی کاهش‌یافته با شاهد وجود نداشت.

واژه‌های کلیدی: پیکرینگ، سس مایونز، کازئین، قدومه شیرازی، نانوامولسیون

مقدمه

سس مایونز از جمله محصولاتی است که در اکثر کشورها مصرف فراوانی دارد. این محصول، گذشته از طعم مطلوبی که به‌عنوان یک چاشنی در غذا ایجاد می‌نماید، نقش مؤثری در تأمین مواد مغذی و انرژی لازم برای انسان دارد. سس مایونز رژیمی، فرآورده غذایی نیمه جامد یا سیال است که از امولسیون‌شدن جانشین‌های چربی و روغن های گیاهی به‌همراه سرکه و افزودنی‌های دیگر آماده می‌شود و دارای انرژی و چربی کمتر از سس مایونز و سس سالاد می‌باشد (Dadpour & Yazdanpanah, 2020). چربی بیشترین کالری (۹ kcal/g) را در مقایسه با پروتئین و کربوهیدرات (۴ kcal/g) فراهم می‌نماید (Seyfoddin *et al.*, 2017). از طرف دیگر افزایش آگاهی مردم به عنوان مصرف‌کننده محصولات دارای چربی نسبت به مسائل مربوط به سلامتی، تولیدکنندگان را برآن داشته تا به‌دنبال راهکاری مؤثر برای غلبه بر این مشکل باشند. بنابراین مصرف‌کنندگان تمایل به مصرف سس مایونز کم‌چرب پیدا کرده‌اند. مهندسین مواد غذایی، جایگزین‌های کم‌کالری و بدون کالری متعددی را به‌منظور تولید محصولات کم‌چرب توسعه دادند.

۱، ۲ و ۴- گروه علوم و صنایع غذایی، واحد قوچان، دانشگاه آزاد اسلامی، قوچان، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: a_aria_1443@yahoo.com)
۳- گروه نانوفناوری مواد غذایی، مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی، مشهد، ایران

https://doi.org/10.22067/ifstrj.2023.80077.1227

در صورت استفاده از مقادیر کمتر روغن جهت ایجاد بافت مناسب نیاز به استفاده قوام دهنده‌ها در سس مایونز به وجود می‌آید. صمغ‌ها جزئی از فرمول ساخت اکثر سس‌ها هستند (Aslanzadeh *et al.*, 2014). این پلی‌ساکاریدها با افزایش غلظت فاز پیوسته موجب کاهش چسبندگی و متراکم شدن قطرات چربی و کاهش احتمال برخورد اتصال این قطرات به یکدیگر از طریق کاهش آزادی حرکت قطرات پراکنده امولسیون گردیده و درنتیجه موجب ثبات امولسیون می‌شود (Dadpour & Yazdanpanah, 2020). روش دیگر ابرای کاهش چربی استفاده از ساختار امولسیونی است. امولسیون‌ها به‌طور گسترده در صنایع غذایی از جمله نوشیدنی‌ها، نانوایی‌ها، لبنیات‌ها و فرآورده‌های گوشتی مختلف استفاده می‌شوند. موضوع مهمی که درعوامل تثبیت کننده نقش محوری دارند پایداری سیستم امولسیون است. در مطالعات متعددی از ساختارهایی چون ساختار امولسیون دوگانه، نانوامولسیون (Mahmoud *et al.*, 2016) و میکروامولسیون (Silva *et al.*, 2018) به‌عنوان جایگزین چربی استفاده نمودند. علاوه بر این تحقیقات پیشین از نانوامولسیون برای کاهش چربی در محصولات غذایی چون کیک و بستنی استفاده نمودند (Aswathanarayan & Vittal, 2019; Dadpour & Yazdanpanah, 2020; Meral *et al.*, 2022). از این رو هدف از این پژوهش استفاده از نانوامولسیون پایدارشده با ذرات پیکرینگ کازئین[1]-صمغ قدومه شیرازی به‌عنوان جایگزین چربی در سس مایونز است.

یکی از روش‌های جدید تشکیل امولسیون، امولسیون پیکرینگ است، در این روش به جای استفاده از عوامل فعال‌کنندهٔ سطحی از ذرات جامد برای پایداری امولسیون استفاده می‌شود (Linke & Drusch, 2018). این امولسیون‌ها باتوجه به ایجاد مانع فیزیکی در برابر پدیده ادغام شدن پایداری بالایی دارند. در امولسیون پیکرینگ‌ها[2] برعکس امولسیون‌های کلاسیک برای پایداری نیاز به امولسیفایرهای سنتزی ندارد و از بیوپلیمرهای طبیعی مثل پروتئین و پلی‌ساکارید استفاده می‌شود (Hedjazi *et al.*, 2019). از این‌رو هدف اول این پژوهش، استفاده از نانوذرات کازئین-صمغ قدومه شیرازی[3] به‌عنوان ذرات پیکرینگ برای پایداری نانوامولسیون است.

کازئین نوعی از پروتئین شیر است و همان چیزی است که به شیر رنگ سفید می‌دهد. حدود ۸۰٪ از پروتئین موجود در شیر گاو، از نوع کازئین است. پروتئین کازئین در محیط آبی به شکل کروی هست که سطح آن آبدوست و هسته آن آبگریز است بنابراین قابلیت تشکیل میسل پایدار را دارد (Haratifar & Guri, 2017). با افزودن اتصال دهنده می توان موجب تجمع ذرات پروتئینی شده و تشکیل ساختارهای نانو دارد. برهمکنش پروتئین و پلی‌ساکاریدها نقش مهمی در ساختار مواد غذایی و پایداری آنها در توسعه فرمولاسیون جدید دارد. برهمکنش پلیمرهای ماکرومولکولی موضوع مهمی در تهیه نانوذرات است (Sarraf *et al.*, 2021).

قدومه شیرازی با نام علمی *Alyssum homolocarpum* شناخته می‌شود و جنسی متشکل از ۱۷۰-۱۰۰ گونه و از خانواده Cruciferae می‌باشد. دانه قدومه پس از قرار گرفتن در آب، لعابی تولید می‌کند که به‌عنوان نرم‌کننده سینه، رفع درد گلو و گرفتگی صدا، ضد سرفه و سنگ شکن مصرف سنتی دارد. صمغ بدست آمده از دانه قدومه شیرازی کاربردهای مختلفی به‌عنوان قوام‌دهنده و تثبیت‌کننده امولسیون دارد (Alipour *et al.*, 2015). صمغ قدومه شیرازی با جذب آب می‌تواند خصوصیات سطحی از خود نشان دهد که این قابلیت توانایی کاهش کشش سطحی را دارد. تحقیقات پیشین نشان داده است که این صمغ قادر به تشکیل نانوذرات است. خوش‌اخلاق و همکاران (Khoshakhlagh *et al.*, 2017) با استفاده صمغ قدومه شیرازی، د-لیمونن را با روش الکترواسپری ریزپوشانی کردند و ذراتی در حدوده نانو بدست آوردند (Khoshakhlagh *et al.*, 2017).

با توجه به ضررات اثرات زیان‌بار چربی در سس مایونز و اهمیت استفاده از ذرات بیوپلمری به‌عنوان جایگزین امولسیفایرهای کلاسیک، هدف از این مطالعه استفاده از نانوامولسیون پایدارشده با ذرات پیکرینگ کمپلکس پروتئین کازئین-صمغ قدومه شیرازی جهت تولید سس مایونز با چربی کاهش‌یافته است. در این تحقیق ویژگی‌های بافتی، رنگی، میزان پایداری و ویژگی‌های حسی سس مایونز مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

مواد اولیه

پروتئین کازئین از شرکت سیگما (آلمان) تهیه شد و روغن تجاری آفتابگردان لادن، تخم مرغ، سرکه، نمک، شکر از بازار محلی و دانه های قدومه شیرازی از فروشگاه گیاهان داروئی در شهر مشهد و مواد آزمایشگاهی مورد استفاده (SDS, HCL, NaOH)، نمک کلسیم کلراید) از شرکت مرک (آلمان) خریداری شدند. برای تهیه کلیه محلول ها از آب دیونیزه استفاده شد.

روش استخراج قدومه شیرازی

جهت استخراج صمغ دانه قدومه‌شیرازی، دانه‌ها به مدت ۲۰ دقیقه با آب مقطر (نسبت آب به دانه ۲۰ به ۱) در دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد و pH=۶ مخلوط شدند. در نهایت جداسازی موسیلاژ با عبور دانه‌های

1- casein
2- Pickering
3- *Alyssum homolocarpum*

متورم‌شده از یک اکستراکتور (استخراج کننده آزمایشگاهی پارس خزر، ساخت ایران) صورت گرفت. صمغ جمع‌آوری‌شده در آون با جریان هوای ۴۵ درجه سانتی‌گراد خشک گردید (Alipour *et al.*, 2015). صمغ دانه قدومه شیرازی دارای ۲ /۰۶ درصد پروتئین، ۶/۳ درصد خاکستر و ۷/۲ درصد رطوبت بود.

تهیه پیکرینگ‌های کمپلکس صمغ قدومه‌شیرازی و پروتئین کازئین

تهیه ذرات پیکرینگ براساس روش مدیری دوم و همکاران (Modiri-Dovom *et al.*, 2023) انجام شد. محلول پروتئین کازئین ۲ درصد و صمغ قدومه‌شیرازی ۰/۰۵ درصد تهیه و به‌منظور بیشینه جذب آب به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. پروتئین کازئین داخل بن‌ماری (F26ED – JULABO و ساخت کشور آمریکا) در دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد به‌مدت نیم‌ساعت قرار داده و سپس سرد شد. محلول کازئین با دور ۶۰۰۰ به‌مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ (Z23HK -HERMIE و ساخت کشور آلمان) و سرم آن با صمغ قدومه‌شیرازی مخلوط شد. جهت تشکیل کمپلکس PH محلول پروتئین–پلی‌ساکارید روی ۶/۵ تنظیم گردید و سپس برای تشدید تشکیل ذرات، نمک کلسیم کلرید ۰/۵ مولار اضافه شد. در نهایت عمل صوت‌دهی ذرات با قدرت ۴۰ به‌صورت پالسی و به‌مدت ۶۰ ثانیه (VCX750- SONICS، ساخت انگلستان) انجام‌شد، در این مرحله پیکرینگ کمپلکس صمغ قدومه‌شیرازی و پروتئین کازئین تشکیل شد.

روش تهیه امولسیون پیکرینگ

تهیه امولسیون بر اساس روش ناجی طبسی و همکاران (Naji-Tabasi *et al.*, 2021) با کمی تغییرات انجام شد برای تهیه امولسیون پیکرینگ از ذرات پیکرینگ کمپلکس کازئین–صمغ قدومه‌شیرازی استفاده شد. در ادامه روغن آفتابگردان به آرامی به محلول ذرات جامد تحت هموژنایزر (اولتراکس تی ۲۵، IKA آلمان) با سرعت ۶۰۰ دور در دقیقه اضافه شد. همگن‌سازی امولسیون در ۱۶۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۳ دقیقه انجام و در ادامه تحت صوت‌دهی با قدرت ۴۰ به‌مدت ۶۰ ثانیه –۱ ثانیه پالسی با پروب ۱۹ (VCX750- SONICS و ساخت انگلیس) قرار گرفت (Naji-Tabasi *et al.*, 2021).

تهیه سس مایونز

برای تهیه سس مایونز، نمک، شکر، سرکه سفید و آب را با هم مخلوط کرده و با استفاده از دستگاه همزن (EUROSTAR – digital و ساخت کشور آلمان) به خوبی مخلوط گردید. جهت تولید سس مایونز با روغن کاهش‌یافته، نانوامولسیون به تدریج به مخلوط فوق در حین مخلوط شدن اضافه گشت و به‌مدت ۵ دقیقه با همزن مخلوط شد و سپس تخم مرغ اضافه شد و کاملا مخلوط گردید تا ترکیبی یکنواخت حاصل شد. در این مرحله روغن با ریزش مداوم و به‌صورت یکنواخت اضافه گردید. در همه نمونه ها شکر، سرکه سفید، زرده تخم مرغ، نمک به میزان ثابت در تمام فرمول‌ها اضافه شد. سس مایونز با روغن کاهش یافته حاوی ۳۰ (RFM30%)، ۴۰ (RFM40%) و ۵۰ (RFM50%) درصد روغن با جایگزینی امولسیون پیکرینگ به‌ترتیب در سطح ۴۲، ۳۲ و ۲۲ درصد تولید و با نمونه شاهد (روغن ۶۸ درصد) مقایسه شد. در نهایت نمونه‌های سس مایونز تهیه شده جهت انجام آزمون‌های بعدی در دمای یخچال نگهداری شدند (Dadpour & Yazdanpanah, 2020).

پایداری سانتریفیوژی

آزمون پایداری سانتریفیوژی براساس روش اکبری و همکاران (Akbari *et al.*, 2016) با کمی تغییرات انجام شد. نمونه‌ها درون لوله‌های استریل مدرج‌شده ریخته با دور ۴۵۰۰ به‌مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ (Hettich, Germany) گردید. سپس براساس حجم فازهای جدا شده، پایداری امولسیون براساس رابطه ۱ اندازه‌گیری شد (Akbari *et al.*, 2016).

$$ES = \frac{VF}{Vi} \qquad (۱)$$

Vi: حجم اولیه امولسیون و *Vf*، حجم بعد از سانتریفیوژ است.

آزمون پایدار زمانی سس مایونز کم چرب

پس از تهیه نمونه‌های مایونز، ۱۰ میلی‌لیتر از امولسیون در لوله فالکون ۱۵ میلی‌لیتر ریخته شد و پس از بستن درب آن‌ها، به‌مدت ۲ ماه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. میزان این شاخص با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد (Khorrami *et al.*, 2014).

$$\text{خامه‌ای شدن} = \frac{\text{ارتفاع لایه خامه ای}}{\text{ارتفاع کل امولسیون}} \qquad (۲)$$

آزمون بررسی ویژگی‌های بافتی

آزمون بافت‌سنجی براساس روش ناجی طبسی و همکاران (Naji-Tabasi *et al.*, 2021) جهت اندازه‌گیری ویژگی‌های بافتی نمونه‌های سس مایونز (نظیر سفتی، قوام و چسبندگی)، از آزمون اکستروژن پسرو[1] انجام گرفت. دستگاه آنالیز بافت (TAXT PLUS/ stable micro system ساخت کشور انگلیس) با پروب دیسکی شکل با قطر ۳۵ میلی

1- Back extrusion

متر با سرعت ۱/۵ میلی‌متر بر ثانیه و میزان فشردگی ۵۰ درصد ارتفاع نمونه برای بررسی خصوصیات بافت سس مایونز استفاده شد. تمام آزمون‌ها در دمای محیط ۲۵ درجه سانتی‌گراد انجام گردید (Liu *et al.*, 2007).

آزمون رنگ‌سنجی

آزمون رنگ‌سنجی براساس روش بنبتایب و همکاران (Benbettaïeb *et al.*, 2014) با کمی تغییرات انجام شد. جهت انجام آزمون رنگ‌سنجی، تصویربرداری از نمونه‌های سس مایونز با دستگاه اسکنر (CanoScan LiDE 220 ساخت کشور ویتنام) انجام شد. سپس شاخص‌های رنگی L^*، a^* و b^* با نرم‌افزار Imagej استخراج شد (Benbettaïeb *et al.*, 2014).

آزمون مورفولوژی ذرات سس مایونز کم‌چرب

برای بررسی ساختار سس مایونز، میکروسکوپ نوری (Iabomed-IX400 و ساخت کشور آمریکا) مجهز به دوربین عکاسی استفاده شد. نمونه‌ها توسط محلول SDS ۰/۱ درصد به نسبت ۱به ۱۰ رقیق شد، سپس یک قطره از نمونه روی یک اسلاید قرار گرفت و در بزرگنمای ۴۰۰ تصویرها تهیه شد (Koocheki *et al.*, 2011).

آزمون ارزیابی حسی

جهت بررسی ویژگی‌های حسی سس مایونز کم‌چرب از گروه داوران چشایی متشکل از ۱۴ نفر در بازه سنی ۲۵ تا ۳۵ سال مذکر و مؤنث از دانشجویان تحصیلات تکمیلی رشته علوم و صنایع غذایی انتخاب شدند. برای این منظور نمونه‌ها در اختیار داوران چشایی قرار گرفت و از آنها خواسته شد در مقیاس هدونیک ۵ نقطه‌ای نسبت به امتیازدهی سس مایونز در خصوص پارامترهای رنگ، ظاهر، طعم، بافت، قوام، مالش‌پذیری و پذیرش کلی اعلام نظر نمایند. همچنین از داوران خواسته شد جهت از بین رفتن طعم ناشی از هر نمونه، در بین هر دو نمونه اندکی از آبی که در اختیار آنها قرار گرفته بود استفاده کنند.

آنالیز آماری

برای تجزیه و تحلیل آماری نتایج از طرح کاملا تصادفی ساده استفاده گردید. داده‌ها توسط آنالیز واریانس (ANOVA) و اختلاف بین میانگین‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ مورد مقایسه قرار گرفتند.

نتایج و بحث

نتایج آزمون پایداری سانتریفیوژی

نتایج آزمون پایداری سانتریفیوژی در جدول ۱ خلاصه شده است. همان طور که مشاهده می‌شود با افزایش درصد نانوامولسیون و کاهش میزان چربی پایداری امولسیون سس مایونز کاهش یافته است. اگرچه اختلافات معنی‌داری بین درصد پایداری تیمارهای نمونه کنترل و RFM-50% مشاهده نشد ($P≥۰/۰۵$). با کاهش میزان چربی میزان پایداری کاهش معنی‌دار بود ($P<۰/۰۵$). پایداری امولسیون به توانایی یک امولسیون در مقابله با ایجاد تغییر در خصوصیاتش اشاره دارد؛ بدین معنی که خصوصیات یک امولسیون بسیار پایدار به کندی تغییر می‌کند. ممکن است امولسیون به دلایل متفاوتی از قبیل فرایندهای شیمیایی و فیزیکی ناپایدار شود. سس مایونز شاهد، یک امولسیون غلیظ است. در این سس، قطرات امولسیون به هم نزدیک هستند، از این‌رو تا وقتی که نیروی پایدارکننده قوی‌تر از نیروی جاذب میان قطرات هستند، حرکت قطرات محدود بوده و امولسیون پایدار می‌ماند (McClements, 2004).

جدول ۱- پایداری سانتریفیوژی و زمانی سس مایونز

Table 1– Centrifugal stability and sometimes mayonnaise

Sample نمونه	1 day ۱ روز (%)	14 days ۱٤روز (%)	30 days ۳۰ روز (%)	60 days ٦۰ روز (%)	90 days ۹۰ روز(%)	Centrifugation stability (%) پایداری سانتریفیوژی
Control	100.00±0.00^{aA}	100.00±0.00^{aA}	100.00±0.00^{aA}	95.05±1.06^{aB}	92.20±0.98^{aC}	83.65±0.77^{a}
RFM-50%	100.00±0.00^{aA}	100.00±0.00^{aA}	100.00±0.00^{aA}	93.60±0.98^{bB}	90.75±1.06^{aC}	83.55±0.63^{a}
RFM-40%	100.00±0.00^{aA}	100.00±0.00^{aA}	96.50±0.98^{bB}	91.56±1.90^{cC}	90.70±1.00^{aD}	82.95±0.21^{a}
RFM-30%	100.00±0.00^{aA}	100.00±0.00^{aA}	95.05±1.06^{bB}	90.75±1.06^{cC}	88.50±0.70^{bD}	81.95±0.21^{a}

* حروف کوچک و بزرگ به‌ترتیب نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بین نمونه‌ها و طی زمان نگهداری می‌باشد (آزمون دانکن، $P≤۰/۰۵$).

* Centrifugal stability And sometimes mayonnaise Uppercase and lowercase letters In order of indication Significant difference between samples and During the storage period (Duncan's test, $P≥0.05$).

با کاهش میزان چربی و ورود نانوامولسیون به سیستم سس، حرکت قطران امولسیون بیشتر خواهد شد که باعث افزایش ناپایداری سیستم می‌شود. اگرچه با توجه با استفاده از نانوامولسیون که توسط ذرات پیکرینگ پایدار شده اند به داخل ساختار امولسیون، از ناپایداری سیستم جلوگیری و این ذرات خود در ایجاد ساختار مستحکم‌تر در امولسیون می‌توانند شرکت کنند.

پایداری زمانی

نتایج آزمون پایداری زمانی نشان داد، تمامی نمونه‌ها تا دو هفته اول پایداری کامل داشتند (جدول ۱). با افزایش کمپلکس صمغ قدومه شیرازی و پروتئین کازئین پایداری امولسیون در مدت زمان ۹۰ روز نگهداری افزایش یافته است. به‌طور کلی پایداری سیستم امولسیونی روغن در آب طی نگهداری آنها، به نوع و عملکرد لایه تشکیل شده بر سطح فصل مشترک قطرات روغن با آب مربوط می‌شود. چرا که این ترکیب ماکرومولکول با گذشت زمان فرصت کافی خواهد داشت تا با تشکیل یک غشاء ضخیم بر سطح قطرات روغن از طریق مکانیسم دافعه، فضایی پایداری بیشتری فراهم کند. یکی از دلایل این امر افزایش ویسکوزیته امولسیون و احتمال تشکیل شبکه سه بعدی به علت حضور قطرات پایدارشده توسط ذرات باشد، باتوجه به قانون استوکس، سرعت روبه بستن با گرانروی رابطه عکس داشته و با افزایش ویسکوزیته سرعت رو به بستن کاهش می‌یابد. اگرچه کاهس چربی و افزایش نانوامولسیون گرانروی سیستم را کاهش می‌دهد. می‌توان دریافت که حضور نانو امولسیون باعث ایجاد امولسیون با ثبات‌تر با استحکام مکانیکی بالاتری می‌شود. دادپور و همکاران (Dadpour *et al*., 2020)، با بررسی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی تولید سس مایونز کم‌چرب با استفاده از نانو امولسیون عصاره میوه سپستان دریافتند که با افزودن نانوامولسیون پایداری سیستم امولسیون سس مایونز افزایش یافته است، اگرچه نمونه با جایگزینی ۱۰۰ درصد چربی با نانوامولسیون نسبت به سایر تیمارها پایداری حرارتی کمتری داشته که دلیل کاهش پایداری را به افزایش میزان فاز آبی و کاهش غلظت و درنتیجه آن کاهش گرانروی نسبت داده‌اند (Dadpour & Yazdanpanah, 2020).

ویژگی‌های بافتی

ویژگی‌های بافتی نمونه‌های سس مایونز کم‌چرب در جدول ۲ گزارش شده است ($P\leq 0/05$). نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین سختی نمونه کنترل و RFM50% وجود ندارد. با افزایش جایگزینی چربی با نانوامولسیون سختی کاهش یافت. با کاهش چربی و افزودن نانوامولسیون فنریت و قوام نیز روند کاهشی داشت. چسبندگی نمونه‌های کم‌چرب نسبت به نمونه کنترل بیشتر بود که بیشترین مقدار در نمونه RFM30% مشاهده شد ($P\leq 0.05$). به علت دو شاخص چسبندگی و انسجام جهت گسترش‌پذیری سس مایونز بر روی موادغذایی و حفظ ساختار در حین اعمال تنش‌های کوچک حائز اهمیت می‌باشند بهبود و برتری این دو فاکتور در نمونه RFM50% بسیار مطلوب و ناشی از ایجاد ساختار مناسب می‌باشد. بدین‌صورت که نانوامولسیون به‌عنوان یک روان‌ساز عمل کرده که این باعث انعطاف‌پذیری بیشتر شده است. دادپور و یزدان‌پناه (Dadpour & Yazdanpanah, 2020) نیز با جایگزینی نانوامولسیون میوه سپستان در سس مایونز کم‌چرب به‌عنوان جایگزین چربی شاهد کاهش مقادیر خصوصیات بافتی بودند. این محققین گزارش کردند که با توجه به اینکه مایونز نوعی امولسیون با ساختار ویسکوالاستیک است، با کاهش میزان روغن قادر به ایجاد ساختار منسجم برای ایجاد خصوصیات بافتی مطلوب با نانوامولسیون نخواهد بود. همان‌طور که در تصویر ۱ نیز مشاهده می‌شود با کاهش چربی میزان ترامن قطرات روغن کاهش یافته است که بر ویژگی‌های بافتی سس مایونز اثر گذار است. اردستانی و همکاران (Ardestani *et al*., 2018)، بررسی خواص رئولوژیکی و بافتی سس مایونز کم‌چرب تهیه شده با استفاده از منو و دی‌گلسیرید و صمغ‌های گوار و زانتان نتایج نشان داد با افزایش استفاده از صمغ گوار به میزان ۰/۶۶۷ در ترکیب با صمغ زانتان به میزان ۰/۱۶۷ درصد باعث کاهش شاخص قوام تیمارهای سس مایونز گردید (Ardestani *et al*., 2018).

نتایج آزمون رنگ‌سنجی

شاخص L* معرف میزان روشنی نمونه می‌باشد و دامنهٔ آن از صفر (سیاه خالص) تا ۱۰۰ (سفید خالص) متغیر است. شاخص a* میزان نزدیکی رنگ نمونه به رنگ‌های سبز و قرمز را نشان می‌دهد و دامنهٔ آن از ۱۲۰- (سبز خالص) تا ۱۲۰+ (قرمز خالص) متغیر است. شاخص b* میزان نزدیکی رنگ نمونه به رنگ‌های آبی و زرد را نشان می‌دهد و دامنهٔ آن از ۱۲۰- (آبی خالص) تا ۱۲۰+ (زرد خالص) متغیر می‌باشد (Zhou *et al*., 2018). ظاهر مایونز عمدتا با میزان سفیدی (روشنی) آن سنجیده می‌شود، زیرا این فاکتور تأثیر بسزایی در میزان پذیرش مصرف‌کننده دارد. نتایج آزمون رنگ‌سنجی نشان داد (جدول ۳)، میان فاکتورهای *L**. *a**. *b** نمونه‌های سس مایونز از لحاظ آماری با نمونه شاهد تفاوت معناداری وجود داشت ($P\leq 0/05$).

جدول ۲- بافت‌سنجی سس مایونز
Table 2- Histology mayonnaise sauce

Sample نمونه	Hardness (g) سفتی	Springiness (mm) فنریت	Consistency (g.s) قوام	Adhesiveness (g.s) چسبندگی	Apparent modulus of elasticity (g/s) مدول ظاهری الاستیسیته
Control شاهد	68.61± 4.41 [a]	18.60 ±1.08[a]	1125.85± 124.51[a]	-678.59 ± 85.53[c]	3.92± 0.43[b]
RFM-50%	66.82 ± 9.40[a]	11.61 ± 1.58[b]	612.17± 2.01[b]	-454.20 ±41.05[b]	5.67 ±1.08[a]
RFM-40%	32.68 ± 2.52[b]	13.72 ± 1.23[b]	393.77 ±69.54c	-269.08 ± 35.77a	4.24 ± 0.34ab
RFM-30%	19.90 ± 0.16[b]	14.23 ± 1.63[b]	254.73 ±34.83c	-179.10 ± 13.23a	3.27 ± 0.00b

* حروف مختلف نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بین نمونه‌ها می‌باشد (آزمون دانکن، P≤۰/۰۵).
*Different letters the indicator Significant difference It is between samples (Duncan's test, P≥0.05).

میزان روشنایی در نمونه شاهد ۸۵/۴۸ بوده در ارتباط با RFM50% کمترین کمپلکس ذرات صمغ قدومه‌شیرازی و پروتئین کازئین و در ارتباط با RFM30% بیشترین کمپلکس ذرات صمغ قدومه شیرازی و کازئین استفاده شد. به دلیل حضور نانوامولسیون حاوی ذرات کمپلکس ذرات صمغ قدومه‌شیرازی و پروتئین، میزان روشنایی کاهش یافته است به‌طور کلی که از نمونه RFM 50% تا نمونه RFM 30% همزمان با میزان افزایش نانوامولسیون و کاهش چربی میزان روشنایی کاهش یافته است. اگرچه میزان روشنایی نمونه کنترل و RFM50% تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (P>0.05). دادپور و یزدان‌پناه (Dadpour & Yazdanpanah, 2020) نیز به نتایج مشابهی با استفاده از نانوامولسیون عصاره میوه سپستان در ساختار سس مایونز کم چرب دست یافتند. آنها گزارش کردند که علت کاهش L* سس‌های کم‌چرب، کم بودن شفافیت عصاره میوه نسبت به روغن مورد استفاده است (Dadpour & Yazdanpanah, 2020). از سوی دیگر براساس تصاویر میکروسکوپی (شکل ۱)، با کاهش روغن میزات ذرات روغن در فاز آبی کاهش یافته است و فاز آبی که حاوی ذرات کمپلکس پروتئین و پلی‌ساکاریدی است نقش اصلی را در افتراق نور و ایجاد پارامترهای رنگی دارد. با بررسی فاکتور a با توجه به این که محدوده اعداد منفی بیانگر گرایش محصول به سمت رنگ سبز می‌باشد مشخص می‌گردد نمونه RFM 50 % که *a* آن 0.83- و نمونه RFM 40% که *a* آن 0.97- می‌باشد بیشترین تمایل را به سمت رنگ سبز دارد این امر نشان می‌دهد با افزایش کمپلکس ذرات صمغ قدومه‌شیرازی و پروتئین کازئین به شاهد تمایل نمونه‌ها به سمت قرمز افزایش می‌یابد. اگرچه همه پارارمترها نزدیک به صفر است (۱/۷۹-۰/۸۳-). مقادیر b* در تمامی نمونه‌ها مثبت بود که بیانگر تمایل به سمت رنگ زرد است. با کاهش مقدار چربی و افزایش درصد نانوامولسیون مقدار b* افزایش یافت (P<0.05).

جدول ۳- ویژگی‌های رنگی سس مایونز با روغن‌کاهش یافته
Table 3- Color features mayonnaise sauce with reduced oil

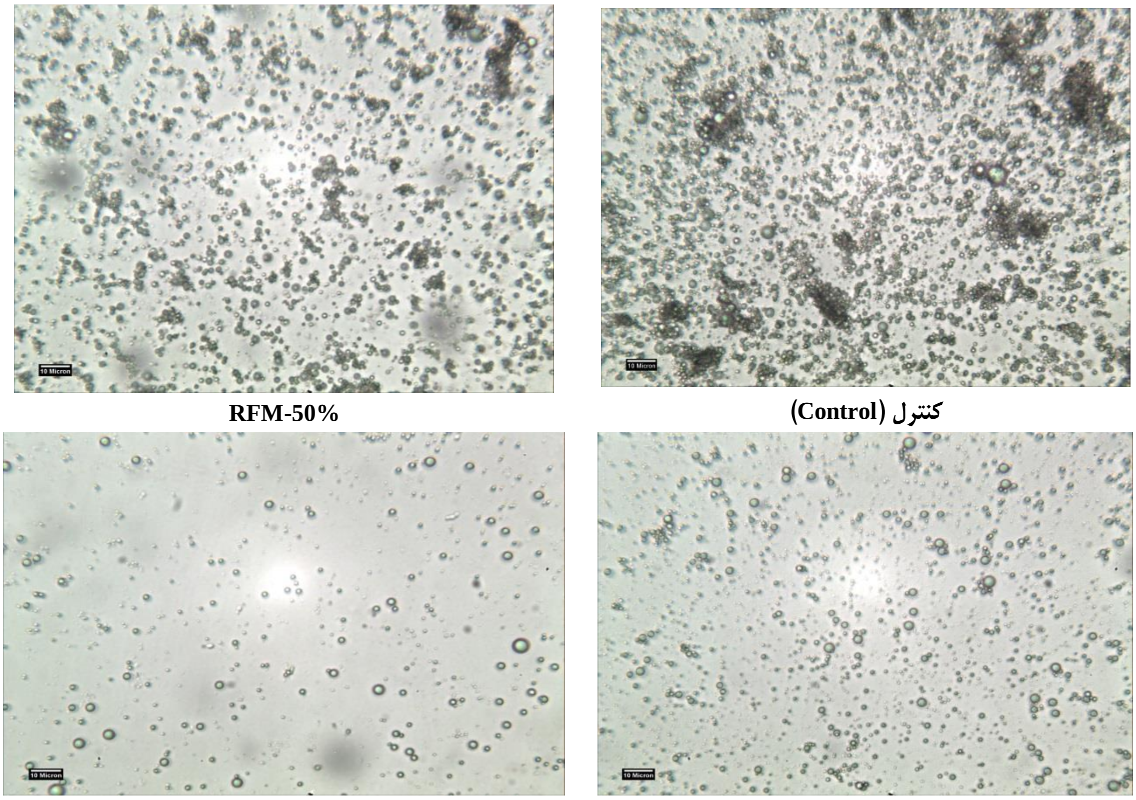
Sample نمونه	*L**	*a**	*b**
control	85.48 ±0.09[a]	1.79 ± 0.01[a]	13.59 ± 0.21[d]
RFM-50%	85.61 ± 0.24[a]	-0.83 ± 0.07[d]	14.72 ± 0.37[c]
RFM- 40%	84.38 ± 0.18[b]	-0.97 ± 0.04[c]	16.20 ± 0.00[b]
RFM- 30%	82.68 ± 0.27[c]	1.20 ± 0.02[b]	17.05 ± 0.06[a]

* حروف مختلف نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بین نمونه‌ها می‌باشد (آزمون دانکن، P≤۰/۰۵).
* Different letters the indicator Significant difference It is between samples (Duncan's test, P≥0.05).

مورفولوژی امولسیون سس مایونز

میکروسکوپ نوری برای تعیین اندازه ذرات و ریز ساختار نمونه هایی ساخته شده مورد استفاده قرار گرفت. همه نمونه‌ها شامل قطرات چربی توزیع شده در یک محیط آبی بودند. از نظر اندازه ذرات، تفاوت قابل توجهی بین نمونه‌ها مشاهده نشد. اگرچه در نمونه کنترل، بین قطرات روغن فلکولاسیون‌های بزرگی قابل مشاهده است. با کاهش مقدار قطرات روغن، این فلکول‌ها کوچکتر شدند. ریز ساختار مایونز می تواند تحت تأثیر عوامل زیادی از جمله نوع و غلظت امولسیفایر و عوامل پایدارکننده و نیز غلظت و ویسکوزیته فاز روغنی تغییر کند. به‌علاوه شرایط عملیاتی نظیر روش و شدت هموژنیزاسیون نیز مهم است

(Mun *et al.*, 2009). با افزایش درصد نانوامولسیون و کاهش روغن (RFM 30%)، ذرات کاملا مجزا از یکدیگر شدند. استفاده از نانوامولسیون و مقدار کمتر چربی، همزمان با افزایش قابلیت دستگاه برای همگن کردن امولسیون، فلکول‌ها شکسته و در نمونه RFM 30%، قطرات کاملا مجزا مشاهده گردید. پیشان و همکاران (Pishan *et al.*, 2019)، بررسی ویژگی‌های رئولوژیکی و فیزیکوشیمیایی سس مایونز کم‌چرب بدون کلسترول با استفاده از نشاسته اکتینیل سوکسینات و صمغ فارسی نتایج نشان داد با افزایش صمغ پراکندگی بین ذرات بیشتر است (Pishan *et al.*, 2019).



کنترل (Control) RFM-50% RFM-40% RFM-30%

شکل ۱- مورفولوژی امولسیون سس مایونز

Fig. 1. Emulsion morphology mayonnaise sauce

ارزیابی حسی

نتایج به‌دست آمده از پارامترهای حسی تیمارهای مایونز شامل ظاهر، رنگ، طعم، گسترش‌پذیری، قوام، بافت و پذیرش کلی در جدول ۴ گزارش شده است. تمام نمونه‌ها از نظر ویژگی‌های حسی دارای اختلاف معنادار بودند (P< 0/05). نمونه کنترل بیشترین امتیاز را در تمام ویژگی‌های حسی دارا بود. اگرچه امتیازهای RFM-50% تفاوت معناداری با کنترل نداشت و از نظر ارزیابان مورد تأیید بود. کمترین امتیاز مربوط به RFM30% بود که بیشترین میزان کاهش روغن را داشت. شمسایی و همکاران (Shamsaei *et al*., 2017)، اثر صمغ دانه ی ریحان و زانتان به‌عنوان جایگزین چربی بر خصوصیات سس مایونز کم‌چرب مورد بررسی قرار دادند و گزارش نمودند که کاهش میزان چربی و افزودن صمغ باعث کاهش پذیرش حسی می‌شود. طلوعی و همکاران (Toluee *et al.*, 2011)، در تحقیقی که بر روی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، بافتی و حسی سس مایونز کم‌چرب حاوی اینولین و پکتین انجام دادن گزارش کردند که نمرات ارزیابی گسترش‌پذیری نمونه‌های مایونز با افزایش میزان جایگزین کاهش می‌یابد (Toluee *et al.*, 2011). حضور ساختار نانوامولسیون پیکرینگ کازئین–قدومه توانسته بود خصوصیات بافتی شامل گسترش‌پذیری و قوام را افزایش دهد، اگرچه در مقادیر بالای کاهش روغن توانایی کمی برای ایجاد بافت مناسب داشته است. دادپور و یزدان‌پناه (Dadpour & Yazdanpanah, 2020) در بررسی ویژگی‌های حسی سس مایونز کم چرب حاوی نانوامولسیون عصاره میوه سپستان روند مشابهی گزارش کردند و کمترین سطح جایگزینی تفاوت معناداری با شاهد نداشت (Dadpour & Yazdanpanah, 2020).

جدول ٤- ویژگی‌های حسی سس مایونز کم‌چرب حاوی نانوامولسیون در مقایسه با کنترل
Table 4- Sensory properties Low fat mayonnaise Contains nanoemulsion compared to control

Sample نمونه	Appearance ظاهر	Color رنگ	Flavour طعم	Consistency قوام	Texture بافت	Spread ability گسترش پذیری	Overall acceptance پذیرش کلی
Control	4.63±0.37[a]	4.62±0.42[a]	4.53±0.51[a]	4.76±0.43 [a]	4.96±0.63[a]	4.61±0.50[a]	4.86± 0.37[a]
RFM-50%	4.44±0.66[ab]	4.42±0.66[ab]	4.30±0.63[ab]	4.23±0.92 [a]	4.23±0.72[a]	4.23±0.72[a]	4.38± 0.65[a]
RFM-40%	4.24±0.70[b]	4.11±0.95b	4. 23±0.86[b]	3.61±0.76[b]	4.23±0.76[a]	4.23±0.77[a]	4.38 ±0.63[b]
RFM-30%	4.12±0.81[b]	4.15±0.80[b]	3.76±0.73[b]	3.23±0.59[b]	3.30±0.62[b]	3.07±0.75[b]	3.46 ±0.66[b]

* حروف مختلف نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بین نمونه‌ها می‌باشد (آزمون دانکن، P≤۰/۰۵).
* Different letters the indicator Significant difference It is between samples (Duncan's test, P≥0.05).

نتیجه‌گیری

بررسی ویژگی‌های سس مایونز با چربی کاهش‌یافته با استفاده از نانوامولسیون پایدارشده با پیکرینگ‌های کمپلکس کازئین و صمغ قدومه‌شیرازی نتایج نشان داد که با افزایش کاهش میزان روغن تا ۳۰ درصد، ویژگی‌های حسی و بافتی به‌صورت معنی‌داری را کاهش یافت. اما کاهش روغن تا ۵۰ درصد در حضور نانوامولسیون پیکرینگ ویژگی های بافتی را حفظ و در مواردی ارتقا داد. تمام امولسیون‌های تولید شده از پایداری مطلوبی طی نگهداری و سانتریفیوژ برخوردار بودند. بهترین پایداری در نمونه کنترل و RFM-30% مشاهده شد. براساس نتایج، استفاده از نانوامولسیون باعث حفظ خصوصیات کیفی سس مایونز با روغن کاهش یافته بخصوص در نمونه RFM-30% شد. همچنین باتوجه به این نکته که ساختار امولسیون پیکرینگ‌ها در دستگاه گوارش پایداری بالایی در برابر هضم دارند، امید است ساختار نانوامولسیون پیکرینگ در تولید محصولات غذایی کم‌چرب مختلف مورد بررسی بیشتر قرار گیرد.

میزان مشارکت

آتنا مدیری دوم: مفهوم‌سازی، مدیریت داده‌ها، تحلیل رسمی، تأمین مالی، تحقیق و بررسی، روش‌شناسی، منابع، نرم‌افزار، ؛ **اکرم آریان‌فر**: نوشتن- پیش‌نویس اصلی، نوشتن- بررسی و ویرایش، نظارت، مدیریت پروژه؛ **سارا ناجی طبسی**: نوشتن-پیش‌نویس اصلی، نوشتن-بررسی و ویرایش، نظارت، مدیریت پروژه؛ **وحید حکیم‌زاده**: اعتبارسنجی، تجسم.

منابع تأمین مالی

این تحقیق هیچ کمک مالی خاصی در بخش‌های عمومی، تجاری یا غیر انتفاعی دریافت نکرد.

References

1. Akbari, E., Ghorbani, M., Sadeghi Mahoonak, A., Alami, M., & Kashaninejad, M. (2016). Effect of sage seed gum and soybean protein isolates on the oil in water emulsion stability. *Innovative Food Technologies*, *3*(2), 23-32. (In Persian). https://doi.org/10.22104/jift.2016.283
2. Alipour, A., Kocheki, A., & Varidi, M. (2015). The effect of *Alyssum homolocarpum* seed gum–whey protein concentrate on stability of oil–in–water emulsion. *Journal of Food Science and Technology (Iran)*, *12*(48), 163-174. (In Persian)
3. Ardestani, M., Rajaee, P., & Hashemi Ravan, M. (2018). Investigation on rheological and textural properties of low-fat mayonnaise prepared using mono- and di-glyceride, guar and xanthan gums. *Journal of Food Science and Technology(Iran)*, *15*(80), 319-333. (In Persian)
4. Aslanzadeh, M., Mizani, M., Gerami, A., & Alimi, M. (2014). Evaluation of produced dietary fiber from wheat bran as a fat replacer in mayonnaise.
5. Aswathanarayan, J.B., & Vittal, R.R. (2019). Nanoemulsions and their potential applications in food industry. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, *3*, 95. https://doi.org/10.3389/fsufs.2019.00095
6. Benbettaïeb, N., Kurek, M., Bornaz, S., & Debeaufort, F. (2014). Barrier, structural and mechanical properties of bovine gelatin–chitosan blend films related to biopolymer interactions. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *94*(12), 2409-2419. https://doi.org/10.1002/jsfa.6570

7. Dadpour, S., & Yazdanpanah, S. (2020). Production of low-fat mayonnaise with using nanoemulsion of *Cordia myxal* fruit extract. *Journal of Food Science and Technology (Iran)*, *17*(104), 135-147. (In Persian). https://doi.org/10.52547/fsct.17.104.135
8. Haratifar, S., & Guri, A. (2017). Nanocapsule formation by caseins. In *Nanoencapsulation technologies for the food and nutraceutical industries* (pp. 140-164). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809436-5.00005-7
9. Hedjazi, S., Razavi, S.H., Kordjazi, M., & Khodaiyan, F. (2019). Preparing pickering emulsion of canthaxanthin and stabilization with cellulose nanocrystals. *Iranian Journal of Biosystems Engineering*, *50*(1), 179-190. https://doi.org/10.22059/ijbse.2018.229319.664918
10. Khorrami, M., Hosseini-Parvar, S.H., & Motamedzadegan, A. (2014). The influence of Basil seed gum concentration on the stability, particle size and rheological properties of oil-in-water emulsion stabilized by whey protein isolate. *Journal of Food Processing and Preservation*, *5*(2), 91-114. (In Persian). https://dorl.net/dor/20.1001.1.24233544.1392.5.2.6.6
11. Khoshakhlagh, K., Koocheki, A., Mohebbi, M., & Allafchian ,A. (2017). Development and characterization of electrosprayed *Alyssum homolocarpum* seed gum nanoparticles for encapsulation of d-limonene. *Journal of Colloid and Interface Science*, *490*, 562-575. https://doi.org/10.1016/j.jcis.2016.11.067
12. Koocheki, A., Shahidi, F., Mortazavi, S.A., Karimi, M., & Milani, E. (2011). Effect of Qodume Shirazi (*Alyssum homolocarpum*) seed and xanthan gum on rheological properties of wheat flour dough and quality of bread. *Iranian Food Science & Technology Research Journal*, *7*(1), 9-16. (In Persian). https://doi.org/10.22067/ifstrj.v7i1.9359
13. Linke, C., & Drusch, S. (2018). Pickering emulsions in foods-opportunities and limitations. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *58*(12), 1971-1985. https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1290578
14. Liu, H., Xu, X., & Guo, S.D. (2007). Rheological, texture and sensory properties of low-fat mayonnaise with different fat mimetics. *LWT-Food Science and Technology*, *40*(6), 946-954. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2006.11.007
15. Mahmoud, K., Abo-Zeid, W., El Shattory, Y., El Kinawy, O., & Salama, M. (2016). Micro sunflower oil-water-emulsion as fat replacer in biscuits. *American Journal Food Technology*, *11*(1-2), 54-62. https://doi.org/10.3923/ajft.2016.54.62
16. McClements, D.J. (2004). *Food emulsions: principles, practices, and techniques*. CRC press. https://doi.org/10.1201/9781420039436
17. Meral, R., Ekin, M.M., Kutlu, N., & Kose, Y.E. (2022). The nanoemulsions: A new design and fat-reducing strategy for the bakery industry. Their effects on some quality attributes of fat-reduced cakes. *Journal of Food Processing and Preservation*, e17160. https://doi.org/10.1111/jfpp.17160
18. Modiri-Dovom, A., Arianfar, A., Naji-Tabasi, S., & Hakimzadeh, V. (2023). Production and investigation of Pickering emulsion stabilized by casein−Qodume Shirazi (*Alyssum homolocarpum*) seed gum complex particles: gastrointestinal digestion. *Journal of Microencapsulation*, 1-21. https://doi.org/10.1080/02652048.2023.2282987
19. Mun, S., Kim, Y.-L., Kang, C.-G., Park, K.-H., Shim, J.-Y., & Kim, Y.-R. (2009). Development of reduced-fat mayonnaise using 4αGTase-modified rice starch and xanthan gum. *International Journal of Biological Macromolecules*, *44*(5), 400-407.
20. Naji-Tabasi, S., Mahdian, E., Arianfar, A., & Naji-Tabasi, S. (2021). Nanoparticles fabrication of soy protein isolate and basil seed gum (*Ocimum bacilicum* L.) complex as pickering stabilizers in emulsions. *Journal of Dispersion Science and Technology*, *42*(5), 633-640. https://doi.org/10.1080/01932691.2019.1703736
21. Pishan, M., Askari, G., Jamshidian, M., & Emam Jomeh, Z. (2019). Investigating the rheological and physicochemical characteristics of low fat-free cholesterol mayonnaise using sodium octenyl succinate starch and Persian gum. *Iranian Journal of Biosystems Engineering*, *50*(1), 191-201. (In Persian). https://doi.org/10.22059/ijbse.2018.260728.665069
22. Sarraf, M., Naji-Tabasi, S., & Beig-babaei, A. (2021). Influence of calcium chloride and pH on soluble complex of whey protein-basil seed gum and xanthan gum. *Food Science & Nutrition*, *9*(12), 6728-6736. https://doi.org/10.1002/fsn3.2624
23. Seyfoddin, H., Koocheki, A., Razavi, S., & Milani, E. (2017). Time-dependent behavior of low fat mayonnaise prepared with *Lepidium perfoliatum* seed gum and whey protein concentrate. *Journal of Food Scince and Technology (Iran)*, *13*(59), 97-107. (In Persian)
24. Shamsaei, S., Razavi, S.M.A., Emadzadeh, B., & Ataei, S.E. (2017). The effect of basil seed gum and xanthan on the physical and rheological characteristics of low fat mayonnaise. *Iranian Food Science & Technology Research Journal*, *17*(1(43)), 65-45. (In Persian). https://doi.org/10.22067/ifstrj.v1395i0.37356
25. Silva, W., Torres-Gatica, M.F., Oyarzun-Ampuero, F., Silva-Weiss, A., Robert, P., Cofrades, S., & Giménez, B. (2018). Double emulsions as potential fat replacers with gallic acid and quercetin nanoemulsions in the aqueous phases. *Food Chemistry*, *253*, 71-78. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.01.128

26. Toluee, O., Mortazavi, S., Aelami, M., & Sadeghi, M.A. (2011). Physico-chemical, texture, and organoleptic properties of low fat mayonnaise containing inulin and pectin. *Innovation in Food Science and Technology (Journal of Food Food Science and Technology)*, *3*(1(7)), 35-42. (In Persian)
27. Zhou, Y., Sun, S., Bei, W., Zahi, M. R., Yuan, Q., & Liang, H. (2018). Preparation and antimicrobial activity of oregano essential oil Pickering emulsion stabilized by cellulose nanocrystals. *International Journal of Biological Macromolecules*, *112*, 7-13. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.01.102